



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
16.03.2005 Bulletin 2005/11

(51) Int Cl.7: **G01C 19/56**

(21) Numéro de dépôt: **04292122.1**

(22) Date de dépôt: **02.09.2004**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Etats d'extension désignés:
AL HR LT LV MK

(30) Priorité: **09.09.2003 FR 0310598**

(71) Demandeur: **Sagem S.A.**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **Beita, José**
95390 Saint Prix (FR)
• **Guyomar, Daniel**
06200 Nice (FR)

- **Eyraud, Lucien**
69005 Lyon (FR)
- **Richard, Claude**
69003 Lyon (FR)
- **Lebrun, Laurent**
69600 Villeurbanne (FR)
- **Guiffard, Benoit**
69680 Chassieu (FR)
- **Boucher, Eric**
69007 Lyon (FR)
- **Audigier, David**
38230 Charvieu (FR)

(74) Mandataire: **Bérogin, Francis**
Cabinet Plasseraud
65/67 rue de la Victoire
75440 Paris Cedex 09 (FR)

(54) **Dispositif de mesure mécanique d'un organe vibrant, et gyrometre en faisant application**

(57) Dispositif de mesure mécanique d'un organe vibrant, comprenant un capteur piézoélectrique en céramique PZT qui est solidarisé audit organe vibrant et qui est inclus dans un circuit électronique de mesure du signal délivré par ledit capteur piézoélectrique, caractérisé en ce que la céramique PZT est dopée avec du fluor

et en ce que le circuit électronique de mesure du signal délivré par le capteur piézoélectrique est un circuit (1) à haute impédance d'entrée, ce grâce à quoi le dispositif de mesure présente un facteur d'échelle ayant une stabilité en température améliorée.

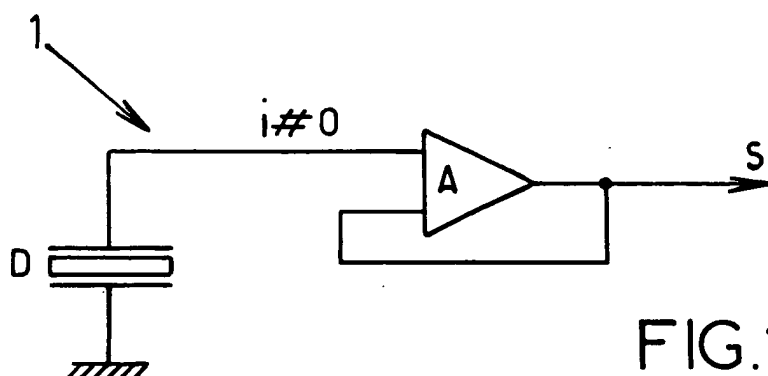


FIG.1.

Description

[0001] La présente invention concerne des perfectionnements apportés aux dispositifs de mesure mécanique d'un organe vibrant, comprenant un capteur piézoélectrique en céramique PZT qui est solidarisé audit organe vibrant et qui est inclus dans un circuit électronique de mesure du signal délivré par ledit capteur piézoélectrique.

[0002] Par PZT, on désigne les matériaux perovskites de type zirconotitanate de plomb ZrO_3 - Pb Ti, appartenant au groupe des matériaux ferroélectriques et dont l'utilisation pour constituer des capteurs piézoélectriques est connue.

[0003] Les matériaux piézoélectriques se caractérisent, entre autres, par un coefficient d_{31} dit "coefficient piézoélectrique" représentatif de la variation dimensionnelle relative du matériau piézoélectrique en présence d'une variation d'un champ électrique transversal. Une valeur élevée du coefficient d_{31} traduira une sensibilité élevée du matériau piézoélectrique, c'est-à-dire une aptitude à une variation dimensionnelle importante en présence d'une variation donnée du champ électrique transversal.

[0004] Les matériaux piézoélectriques sont classiquement classés en trois catégories en fonction de leur facteur de qualité Q :

- pour les matériaux piézoélectriques dits "doux", le facteur de qualité Q a une valeur de l'ordre de 60, tandis que le coefficient piézoélectrique d_{31} a une valeur élevée de l'ordre de 250 ;
- pour les matériaux piézoélectriques dits "semi-durs", le facteur de qualité Q a une valeur de l'ordre de 500 à 1000, tandis que le coefficient piézoélectrique d_{31} a une valeur moyenne de l'ordre de 100 ;
- pour les matériaux piézoélectriques dits "durs", le facteur de qualité Q a une valeur de l'ordre de 2500, tandis que le coefficient piézoélectrique d_{31} a une valeur faible de l'ordre de 50.

[0005] Autrement dit, les matériaux piézoélectriques ayant un bon facteur de qualité Q ont un mauvais coefficient piézoélectrique d_{31} , et inversement.

[0006] Actuellement, pour les applications de type senseurs inertiels, gyromètre ou gyroscope, ..., les matériaux piézoélectriques semi-durs, dont font partie les matériaux ferroélectriques du type perovskite, sont plus favorablement utilisés en raison de leurs performances moyennes pour ce qui concerne à la fois le facteur de qualité Q et le coefficient piézoélectrique d_{31} (les matériaux doux étant écartés en raison de leur facteur de qualité insuffisant et les matériaux durs étant écartés en raison de leur coefficient piézoélectrique trop faible).

[0007] De ce fait, le choix de matériaux semi-durs fait que la sensibilité de ces matériaux est, elle aussi, moyenne.

[0008] Pour mesurer la déformation d'un organe vi-

brant par détection du signal délivré par un capteur piézoélectrique qui en est solidaire, il est connu que le circuit de mesure associé à ce capteur peut être de l'un des deux types suivants :

- circuit 1 à haute impédance d'entrée illustré à la figure 1 du dessin annexé : ce circuit 1 comprend un amplificateur A dont une entrée est raccordée à l'électrode d'une face de la pastille piézoélectrique D, l'électrode de la face opposée de cette pastille étant connectée à la masse ; l'autre entrée de l'amplificateur est raccordée directement à la sortie de celui-ci ; le circuit 1 constitue un détecteur de tension à haute impédance, avec un courant sensiblement nul, dont la tension de sortie S est sensiblement une recopie de la tension d'entrée (montage suiveur de gain unitaire) ;
- circuit 2 à basse impédance d'entrée illustré à la figure 2 du dessin annexé : ce circuit comprend un amplificateur A dont une entrée est raccordée à l'électrode d'une face de la pastille piézoélectrique D, l'électrode de la face opposée de cette pastille étant connectée à la masse ; un condensateur C est connecté entre cette entrée et la sortie de l'amplificateur A ; l'autre entrée de l'amplificateur A est raccordée à la masse ; ce circuit à basse impédance d'entrée à amplificateur de charge transforme en tension le courant délivré par la pastille piézoélectrique D ; celle-ci est court-circuitée sur elle-même par le condensateur C et le champ électrique à ses bornes est nul.

[0009] D'après ce qui précède, on comprend que, dans les dispositifs actuels de mesure mécanique d'un organe vibrant par capteur piézoélectrique, le choix du matériau piézoélectrique, d'une part, et le choix du circuit de mesure du signal délivré par le capteur piézoélectrique, d'autre part, sont des choix de compromis.

[0010] Or les utilisateurs des appareils qui mettent en oeuvre de tels dispositifs de mesure mécanique d'organe vibrant (par exemple gyromètres) ont des exigences toujours plus sévères pour ce qui concerne les performances, exigences qu'il n'est plus possible de satisfaire avec les moyens actuellement mis en oeuvre.

[0011] C'est donc dans ce contexte que l'invention vise à proposer des moyens perfectionnés écartant les inconvénients exposés plus haut et propres à donner satisfaction aux exigences plus contraignantes de la pratique.

[0012] A cette fin un dispositif de mesure mécanique tel que mentionné au préambule se caractérise, étant agencé conformément à l'invention, en ce que la céramique PZT est dopée avec du fluor et en ce que le circuit électronique de mesure du signal délivré par le capteur piézoélectrique est un circuit à haute impédance d'entrée.

[0013] Certes les matériaux perovskites dopés au fluor sont déjà connus. Le document FR-A-2 248 587

décrit des matériaux de ce type utilisés dans la fabrication de condensateurs. Le document EP-A-0 731 060 décrit un procédé de fabrication de céramiques PZT aux fins d'utilisation dans des transducteurs émettant des ondes acoustiques. Les documents FR-A-2 731 443 et US-A-5 683 613 décrivent des procédés de fabrication de céramiques piézoélectriques fluorées.

[0014] Toutefois, le fait d'utiliser une céramique PZT fluorée pour constituer un capteur piézoélectrique, dont un exemple est un gyroscope vibrant piézoélectrique, n'aurait en soi qu'un effet bénéfique restreint dans l'amélioration des performances du dispositif de mesure mécanique s'il n'était exploité en conjonction avec un circuit de mesure à haute impédance d'entrée.

[0015] En effet le dopage de la céramique PZT avec du fluor conduit à un meilleur facteur de qualité Q et donc une meilleure stabilité de dérive de l'appareil, et améliore l'hystérésis en température et sous contrainte du facteur d'échelle.

[0016] Il faut noter ici que le facteur d'échelle F_e n'est pas stable en température, d'une part, et que cette variation en température s'accompagne d'un phénomène d'hystérésis, d'autre part. La figure 3 illustre l'allure de la courbe de variation, sur un cycle fermé de variation de température, du facteur d'échelle F_e (en ordonnées) en fonction de la température T (en abscisses) pour une céramique PZT classique. On a désigné par α l'amplitude de variation du facteur d'échelle F_e entre ses valeurs maximale et minimale et par β l'écart maximum dû à l'hystérésis.

[0017] Or, des mesures comparatives effectuées sur les circuits à haute et basse impédance d'entrée montrent que l'écart relatif moyen $(F_{e_{\max}} - F_{e_{\min}}) / F_{e_{\text{moyen}}}$ est, aussi bien dans le cas de l'écart α que dans le cas de l'écart β , très inférieur pour le circuit à haute impédance d'entrée à ce qu'il est pour le circuit à basse impédance d'entrée. Ainsi, grâce à l'emploi d'une céramique PZT dopée au fluor, on obtient, comme illustré à la figure 4, une courbe de variation thermique du facteur d'échelle F_e qui présente une bien moins grande amplitude α et un écart hystérétique β bien moindre.

[0018] De ce fait, la combinaison des deux dispositions précitées, conformément à l'invention, conduit simultanément à une amélioration du facteur de qualité Q et à une plus grande stabilité en température du facteur d'échelle F_e .

[0019] On soulignera ici que le fait de doper une céramique PZT avec du fluor correspond à un durcissement du matériau : l'amélioration du facteur de qualité Q s'accompagne d'un affaiblissement du coefficient piézoélectrique d_{31} , entraînant une diminution du facteur d'échelle F_e (perte d'efficacité, le facteur d'échelle étant proportionnel au carré du coefficient piézoélectrique d_{31} : $F_e = k/d$). Cette perte d'efficacité peut être acceptable en regard des avantages procurés par une amélioration de la stabilité du facteur d'échelle en température.

[0020] Cependant, pour éviter un durcissement trop

important du matériau, on prévoit de préférence de limiter le dopage de la céramique PZT à un pourcentage molaire de fluor inférieur à 2 %.

[0021] De façon très avantageuse, on peut envisager de contrecarrer, au moins en partie, l'effet de durcissement dû au dopage au fluor en mettant en oeuvre un dopage supplémentaire avec un ou plusieurs ions de substitution en sites A ou B dont la valence et l'encombrement sont compatibles avec l'équilibre du réseau perovskite. L'introduction de ces ions de substitution a un effet adoucissant, avec de préférence un pourcentage molaire inférieur à 3 % de façon à limiter l'effet d'adoucissement introduit par ce dopage supplémentaire. Grâce à cela, le dispositif de mesure présente un facteur d'échelle ayant en outre une stabilité temporelle améliorée.

[0022] De préférence, la céramique PZT est dopée avec un ou plusieurs ions de substitution en site B dont la valence est inférieure à 4 et l'encombrement compatible avec l'équilibre du réseau perovskite. En pratique, l'ion de substitution en site B pourra être du manganèse.

[0023] En pratique, les meilleurs résultats sont obtenus avec une céramique PZT doublement dopée au fluor à raison de 0,5 % à 2 % et au manganèse à raison de 0,5 % à 1,5 %, de préférence doublement dopée avec environ 1 % de fluor et environ 1 % de manganèse.

[0024] Ainsi, la mise en oeuvre des dispositions conformes à l'invention conduit à un matériau piézoélectrique à caractéristiques optimisées, combinant à la fois un facteur de qualité Q relativement élevé (typiquement de l'ordre de 1000) et un coefficient piézoélectrique d_{31} accru (typiquement de l'ordre de 150 pC/N), tous deux meilleurs que ceux des matériaux semi-durs employés jusqu'à présent. Grâce à ce choix de matériau, on obtient un facteur d'échelle F_e plus grand, et donc une meilleure efficacité du capteur.

[0025] Simultanément le choix d'un circuit de mesure du signal piézoélectrique avec une haute impédance d'entrée conduit à une plus grande stabilité en température du facteur d'échelle F_e (moindre amplitude de variation en température, moindre écart hystérétique).

[0026] La combinaison des dispositions retenues conformément à l'invention permet donc de constituer un dispositif de mesure mécanique des déformations d'un corps vibrant qui s'avère beaucoup plus performant (à la fois plus efficace et plus stable en température) que les dispositifs antérieurs et répondent ainsi mieux aux aspirations des utilisateurs.

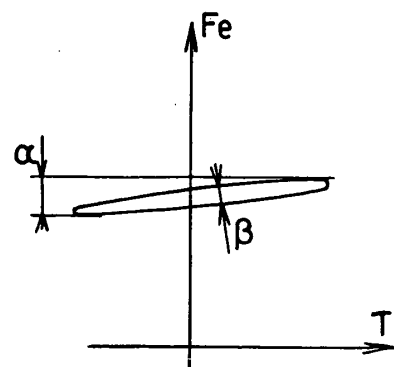
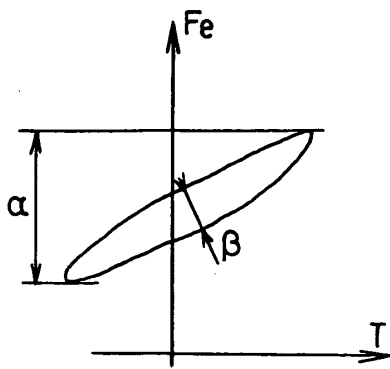
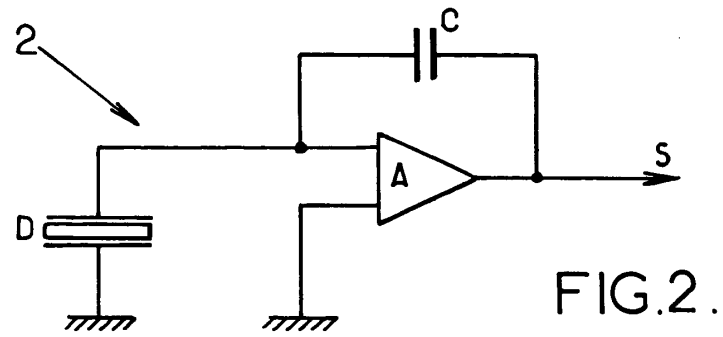
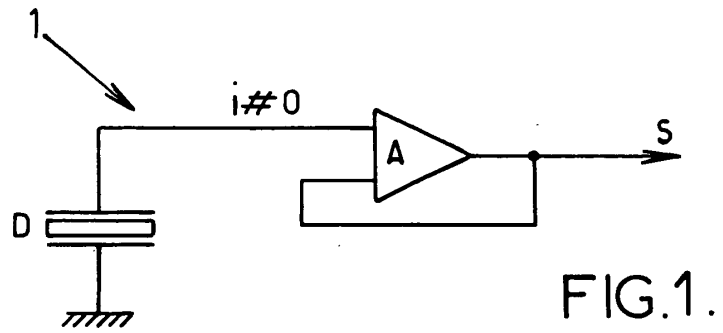
[0027] Un dispositif de mesure mécanique conforme à la présente invention trouve une application particulièrement importante (bien que non exclusive) dans les gyromètres, et en particulier dans les gyromètres à poutre(s) vibrante(s) par exemple du type décrit dans les documents FR-A-2 692 349 et FR-A-2 812 386, ces gyromètres ayant au moins une poutre métallique vibrante encastrée, des premiers éléments piézoélectriques solidarisés à la poutre et excités par un circuit d'excitation pour maintenir la poutre en vibration dans une direction

prédéterminée et des seconds éléments piézoélectriques solidarisés à la poutre et formant capteurs piézoélectriques pour détecter la vibration de la poutre dans une direction perpendiculaire à la susdite direction déterminée, chaque capteur piézoélectrique étant relié à un circuit de mesure de son signal de sortie pour former un dispositif de mesure mécanique.

Revendications

1. Dispositif de mesure mécanique d'un organe vibrant, comprenant un capteur piézoélectrique en céramique PZT qui est solidarisé audit organe vibrant et qui est inclus dans un circuit électronique de mesure du signal délivré par ledit capteur piézoélectrique,
caractérisé en ce que la céramique PZT est dopée avec du fluor
et en ce que le circuit électronique de mesure du signal délivré par le capteur piézoélectrique est un circuit (1) à haute impédance d'entrée, ce grâce à quoi le dispositif de mesure présente un facteur d'échelle ayant une stabilité en température améliorée.
2. Dispositif de mesure selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la céramique PZT est dopée avec un pourcentage molaire de fluor inférieur à 2 %.
3. Dispositif de mesure selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la céramique PZT est en outre dopée avec un ou plusieurs ions de substitution en sites A ou B dont la valence et l'encombrement sont compatibles avec l'équilibre du réseau perovskite, ce grâce à quoi le dispositif de mesure présente un facteur d'échelle ayant en outre une stabilité temporelle améliorée.
4. Dispositif de mesure selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la céramique PZT est dopée avec un ou plusieurs ions de substitution en site B dont la valence est inférieure à 4 et l'encombrement compatible avec l'équilibre du réseau perovskite.
5. Dispositif de mesure selon la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** l'ion de substitution du site B est du manganèse.
6. Dispositif de mesure selon les revendications 2 et 5, **caractérisé en ce que** la céramique PZT est dopée avec (pourcentages molaires) :
fluor : de 0,5 à 2 %
manganèse : de 0,5 à 1,5 %

7. Dispositif de mesure selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la céramique PZT est dopée avec environ 1 % de fluor et environ 1 % de manganèse.
8. Gyromètre ayant au moins une poutre métallique vibrante encastrée, des premiers éléments piézoélectriques solidarisés à la poutre et excités par un circuit d'excitation pour maintenir la poutre en vibration dans une direction prédéterminée et des seconds éléments piézoélectriques solidarisés à la poutre et formant capteurs piézoélectriques pour détecter la vibration de la poutre dans une direction perpendiculaire à la susdite direction déterminée, chaque capteur piézoélectrique étant relié à un circuit de mesure de son signal de sortie pour former un dispositif de mesure mécanique, **caractérisé en ce que** chaque dispositif de mesure mécanique est constitué selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 04 29 2122

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
D,A	FR 2 692 349 A (SAGEM) 17 décembre 1993 (1993-12-17) * page 2, ligne 13 - page 5, ligne 5 * * page 8, ligne 6 - ligne 14; figures 1,5 * -----	1-8	G01C19/56
A	EP 0 649 002 A (TOYOTA MOTOR CO LTD) 19 avril 1995 (1995-04-19) * page 5, ligne 5 - ligne 27 * * page 14, ligne 10 - ligne 36; figures 1,3 * -----	1-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
			G01C G01P
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 15 décembre 2004	Examineur Springer, O
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 04 29 2122

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

15-12-2004

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2692349	A	17-12-1993	FR 2692349 A1	17-12-1993
			DE 69308659 D1	17-04-1997
			DE 69308659 T2	02-10-1997
			EP 0578519 A1	12-01-1994
			IL 105987 A	18-06-1996
			JP 6258083 A	16-09-1994
			KR 271345 B1	01-12-2000
			NO 932125 A	13-12-1993
			US 5597955 A	28-01-1997

EP 0649002	A	19-04-1995	JP 7113645 A	02-05-1995
			DE 69410917 D1	16-07-1998
			DE 69410917 T2	17-12-1998
			EP 0649002 A1	19-04-1995
			US 5585562 A	17-12-1996

EPO FORM P0450

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82